

УДК 543.544.6

РАВНОВЕСИЕ СОРБЦИИ ИОНОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ГИБРИДНЫХ ХЕЛАТНЫХ СОРБЕНТАХ НА ОСНОВЕ СМЕШАННЫХ ОКСИДОВ КРЕМНИЯ, АЛЮМИНИЯ ИЛИ ЦИРКОНИЯ

Л.К.Неудачина, Н.В.Лакиза, Ю.Г.Ятлук*

Уральский государственный университет им. А. М.Горького

620083, Екатеринбург, пр. Ленина, 51

*Институт органического синтеза УрО РАН

620219, Екатеринбург, С.Ковалевской, 20

Ludmila.Neudachina@usu.ru

Поступила в редакцию 17 апреля 2006 г.

Изучены условия извлечения ионов переходных металлов гибридными хелатными сорбентами с привитыми β -аминопропионатными группами на основе смешанных оксидов кремния, алюминия или циркония из водных растворов в зависимости от pH, времени контакта фаз и концентрации сорбата в растворе. Изотермы сорбции ионов меди (II), никеля (II) и кобальта (II) на карбоксиэтилированных полисилоксанах были обработаны моделями сорбции Ленгмюра, Фрейндлиха и Редлиха – Петерсона. Установлено, что сорбция ионов меди (II) полисилоксанами, модифицированными оксидами алюминия и циркония, наилучшим образом описывается моделью Редлиха – Петерсона, во всех других исследованных случаях извлечение ионов переходных металлов подчиняется модели Ленгмюра. Установлены ряды сродства дикарбоксиэтилированных полисилоксанов к ионам переходных металлов. Ряд селективности для сорбентов соответствует ряду Ирвинга – Вильямса.

Неудачина Людмила Константиновна – зав. кафедрой аналитической химии Уральского государственного университета им. А.М.Горького, профессор, кандидат химических наук.

Область научных интересов: комплексообразование ионов различных элементов с органическими и неорганическими лигандами, сорбционные свойства органических и неорганических ионообменных материалов и их применение в аналитических целях.

Автор 70 научных работ.

Лакиза Наталья Владимировна – аспирант химического факультета Уральского государственного университета им. А.М.Горького, ассистент кафедры аналитической химии УрГУ.

Область научных интересов: аналитическое использование кремнийорганических сорбентов, изучение комплексообразования ионов металлов с органическими реагентами.

Автор 2 статей.

Ятлук Юрий Григорьевич – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института органического синтеза УрО РАН.

Область научных интересов: органические комплексы титана, кремнийорганические соединения.

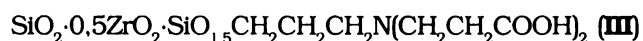
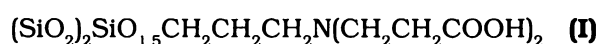
Автор 80 научных работ.

Для понижения предела обнаружения методов определения ионов тяжелых металлов, а также для устранения влияния других компонентов сложных проб используются различные способы концентрирования. Достаточно часто для этой цели применяется сорбция ионов металлов на химически модифицированных силикагелях (ХМС) [1]. Возможность закрепления на поверхности силикагеля практически любой функциональной группы позволяет создавать как групповые, так и селективные к определенным ионам сорбенты.

Высокая селективность ХМС по отношению к ионам металлов достигается обычно ковалентным закреплением на матрице силикагеля фрагментов молекул известных аналитических реагентов, как неорганических [2], так и органических [3–6]. N-арил-3-аминопропионовые кислоты (II) селективно взаимодействуют с ионами меди (II) в присутствии других ионов переходных металлов [7, 8], однако как модифицирующие реагенты для получения ХМС они пока применяются мало. В работе [9] осуществлен синтез нескольких образцов силикагелей с ковалентно иммобили-

лизированными группами β -аминопропионовых кислот, причем часть сорбентов получена модифицированием поверхности готовых силикагелей, а часть – “золь-гель” методом, который позволяет ввести большее количество функциональных групп на единицу массы полисилоксана. При синтезе ряда сорбентов “золь-гель” методом [10] проведено модифицирование не только функциональных групп, но и матрицы путем введения цирконий-, алюминий- и титансодержащих модификаторов. Предварительные данные по сорбции ионов переходных металлов на этих сорбентах показывают, что N-карбоксиэтилированные полисилоксаны проявляют высокую избирательность при извлечении ионов меди (II).

Данная работа посвящена изучению термодинамики сорбции ионов меди (II), кобальта (II) и никеля (II) на гибридных сорбентах на основе смешанных оксидов кремния, алюминия и циркония следующего состава [10]:



Экспериментальная часть

Изученные сорбенты были синтезированы в соответствии с [10].

Исходные растворы переходных металлов готовили растворением $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в дистиллированной воде. Концентрацию металлов определяли комплексонометрическим титрованием [11]. Растворы с меньшими концентрациями меди, кобальта и никеля готовили разбавлением исходных. 0,025%-ный раствор 4-(2-пиридилазо)резорцина (ПАР) готовили растворением точной навески препарата в 0,05 М растворе тетрабората натрия. Необходимое значение pH создавали аммиачно-ацетатным буферным раствором и контролировали на иономере И 130 со стеклянным (ЭСЛ-43-07) и хлорсеребряным (ЭВЛ-1МЗ.1) электродами.

Изучение зависимости сорбции ионов переходных металлов (Cu (II), Ni (II) и Co (II)) от pH раствора проводили в статических условиях методом ограниченного объема. Исходная концентрация солей металлов составляла $1 \cdot 10^{-4}$ М, диапазон изменения pH от 3,5 до 8,0. В аликвотной части раствора над сорбентом определяли равновесную концентрацию ионов Cu (II), Co (II) и Ni (II) в водной фазе по реакции с ПАР [12]. Количество сорбированного иона металла определяли по раз-

ности концентраций ионов меди(II) в растворе над сорбентом до и после сорбции.

Скорость достижения равновесия в системе “сорбент – раствор соли металла” изучали в статических условиях. Для этого 25 мг сорбента помещали в 50 мл раствора исследуемого металла ($1 \cdot 10^{-4}$ М) с оптимальным значением pH сорбции и оставляли. Через определенные промежутки времени в растворе определяли равновесную концентрацию ионов металла спектрофотометрически по реакции с ПАР.

Изучение зависимости сорбции ионов переходных металлов от концентрации Me (II) (изотермы сорбции) проводили по следующей методике: 50 мл раствора соли металла определенной концентрации и кислотности оставляли при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ с 25 мг сорбента, затем твердую фазу отфильтровывали и высушивали на воздухе. После десорбции металлов 0,1 М раствором HCl определяли концентрацию иона Me(II) в растворе. Величину сорбции (α , ммоль/г) рассчитывали по формуле:

$$\alpha = C \cdot V / m,$$

где C – концентрация ионов Me (II) в растворе после десорбции, моль/л; V – объем раствора, мл; m – масса сорбента, г.

Для исследования селективности сорбции в раствор ацетатов с $C(\text{Me}^{2+}) = 1 \cdot 10^{-4}$ М (Me = Ni, Co, Cu) и определенным значением pH объемом 50 мл добавляли 25 мг сорбента, оставляли на 7 суток. Затем сорбент отфильтровывали, и содержание катионов металлов определяли в маточном растворе методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре Hitachi Z-8000. Количество сорбированных ионов рассчитывали по разнице концентраций исходного и равновесного растворов.

Результаты и их обсуждение

Зависимость сорбции ионов переходных металлов от pH раствора

Результаты изучения сорбции меди (II), никеля (II) и кобальта (II) в зависимости от кислотности раствора дикарбоксиэтилированными полисилоксанами приведены на рис. 1–3. Степень извлечения ионов меди (II) для всех сорбентов во всем изучаемом диапазоне pH больше, чем ионов никеля (II) и кобальта (II). Значительная сорбция всех ионов переходных металлов в интервале pH 4,0–8,0 наблюдается для сорбента I (рис. 1). Максимальной сорбции ионов меди (II) и никеля (II) полисилоксаном I соответствует интервал pH 5,5–6,0, ионов кобальта (II) – 6,0–6,5.

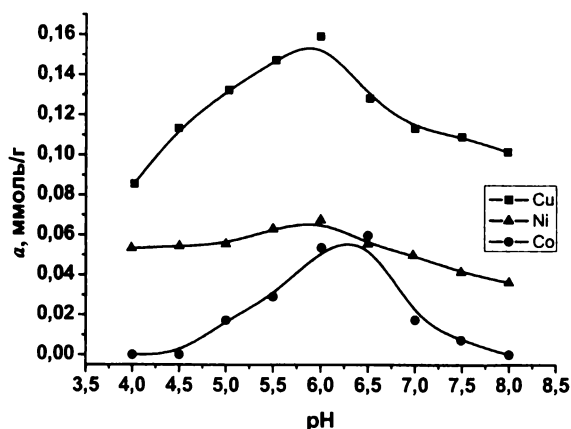


Рис. 1. Зависимость сорбционной способности I по отношению к ионам переходных металлов от pH раствора (аммиачно-ацетатный буферный раствор). $C_{Me(II)} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

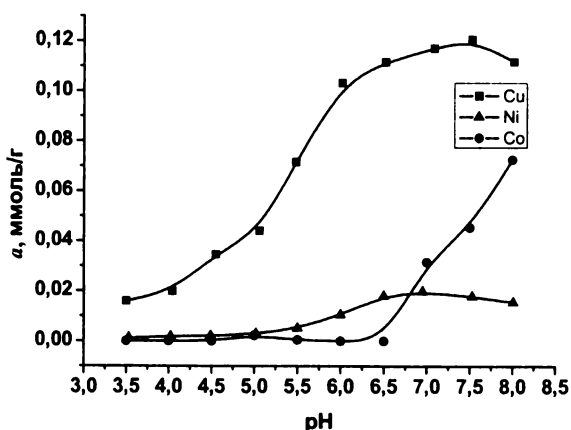


Рис. 2. Зависимость сорбционной способности II по отношению к ионам переходных металлов от pH раствора (аммиачно-ацетатный буферный раствор). $C_{Me(II)} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

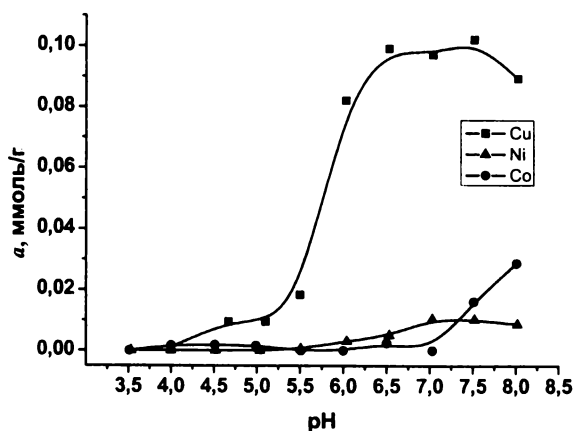


Рис. 3. Зависимость сорбционной способности III по отношению к ионам переходных металлов от pH раствора (аммиачно-ацетатный буферный раствор). $C_{Me(II)} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

Зависимости сорбционной способности **II** и **III** от pH раствора однотипны, но отличаются от аналогичной зависимости для сорбента **I** (рис. 2, 3). В отличие от **I**, сорбенты **II** и **III** извлекают ионы никеля (II) из раствора незначительно во всем исследованном интервале pH, а сорбция ионов

кобальта (II) наблюдается только при $pH > 6,5$. Оптимальный интервал сорбции ионов меди (II) сорбентами **II** и **III** смещен, в отличие от **I**, в щелочную область и составляет 6,5–8,0 для обоих сорбентов. Следует отметить более широкий диапазон кислотности, в котором наблюдается максимальная степень извлечения меди сорбентами **II** и **III**, по сравнению с **I**.

Полученные зависимости позволяют выбрать интервалы pH для избирательного извлечения меди (II) в присутствии кобальта и никеля полиалюмосилоксаном (сорбент **II**) и полицирконосилоксаном (сорбент **III**), которые составляют 6,5–7,0 и 6,5–7,5 соответственно. Хелатный сорбент **I** может быть использован для группового извлечения ионов переходных металлов при pH 6,0.

Зависимость сорбции ионов переходных металлов от времени

Результаты исследования кинетики сорбции в статических условиях при постоянном перемешивании показали, что равновесие в системе устанавливается в течение 60 мин для всех исследуемых ионов. В качестве примера на рис. 4 приведены интегральные кинетические кривые сорбции ионов переходных металлов на сорбенте **I**.

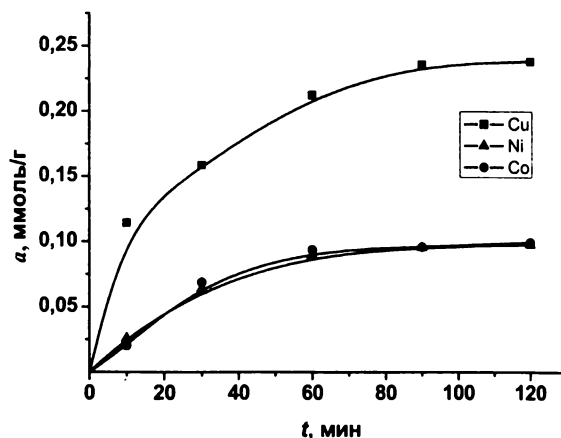


Рис. 4. Интегральные кинетические кривые сорбции ионов переходных металлов на сорбенте **I**. pH: Cu(II), Ni(II) – 6,0; Co(II) – 6,5. $C_{Me(II)} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л. $T = 20 \pm 2^\circ C$.

Изотермы сорбции

Изотерма сорбции является основной характеристикой адсорбционной способности любого поглотителя. При осуществлении разделения в потоке эффективность концентрирования сорбата во многом зависит от вида изотермы. Зависимости равновесной сорбции ионов переходных металлов для **I–III** от равновесной концентрации ионов металлов в растворе представлены на рис. 5–7.

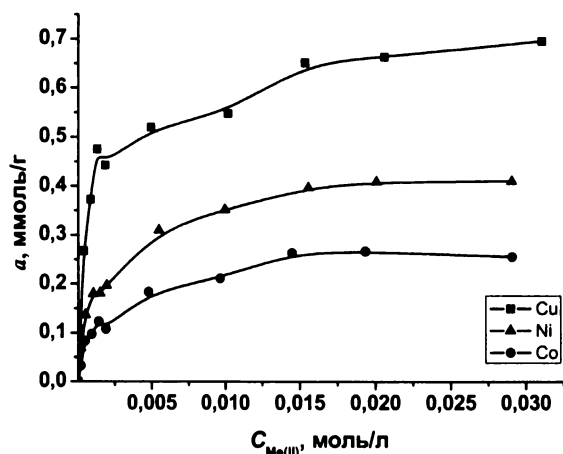


Рис. 5. Изотермы сорбции ионов переходных металлов сорбентом I. pH: Cu(II) – 6,0; Ni(II) – 6,0; Co(II) – 6,5. T=20±2°C.

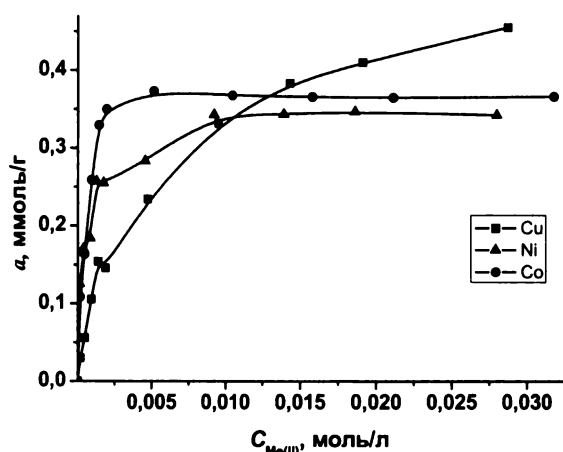


Рис. 6. Изотермы сорбции ионов переходных металлов сорбентом II. pH: Cu(II), Ni(II) – 7,0; Co(II) – 7,5. T=20±2°C.

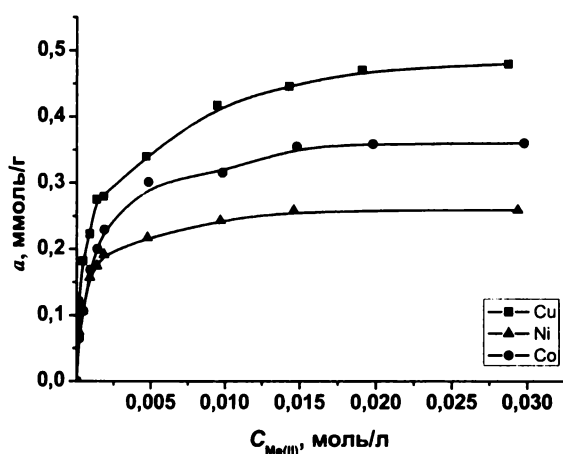


Рис. 7. Изотермы сорбции ионов переходных металлов сорбентом III. pH: Cu(II), Ni(II) – 7,0; Co(II) – 7,5. T=20±2°C.

С увеличением начальной концентрации сорбата его степень извлечения на всех сорбентах увеличивается. На начальных участках изотермы сорбция практически пропорциональна концентрации сорбата в растворе (участок Генри). При этом идет заполнение монослоя сорбата на поверхности сорбента. Наличие этого участка

очень важно для последующего использования сорбента в динамических условиях, т.к. он соответствует наиболее благоприятному виду кривых элюирования. При высоких концентрациях сорбата в растворе на насыщение выходит только изотерма сорбции ионов кобальта сорбентом II (рис. 6). Это свидетельствует о том, что данная изотерма сорбции должна хорошо описываться моделью Ленгмюра. В остальных случаях наблюдается некоторое увеличение сорбции при высоких значениях концентрации сорбата (рис. 5–7).

Модель изотермы Ленгмюра основана на том, что на поверхности сорбента образуется мономолекулярный сорбционный слой и все активные (сорбционные) места обладают равной энергией и энтальпией сорбции. Уравнение изотермы сорбции Ленгмюра имеет вид [13]

$$a_e = \frac{K_L \cdot C}{1 + a_L \cdot C}, \quad (1)$$

где a_e – сорбируемость в состоянии равновесия, ммоль/г; C – равновесная концентрация сорбата в водной фазе, ммоль/л; a_L , K_L – константы изотермы Ленгмюра, л/ммоль и л/г, соответственно.

Для описания равновесных изотерм сорбции, кроме модели Ленгмюра, часто используют модель Фрейндлиха [13].

Эмпирическое уравнение изотермы Фрейндлиха выглядит следующим образом

$$a_e = K_F \cdot C^{1/n}, \quad (2)$$

где a_e – сорбируемость в состоянии равновесия, ммоль/г; C – равновесная концентрация сорбата в водной фазе, ммоль/л; K_F – константа изотермы Френдлиха, соответствующая сорбционной емкости, л^{1/n}·(ммоль)^{1-1/n}/г; n – константа, показывающая интенсивность сорбции.

Модель Фрейндлиха используется для описания сорбции на гетерогенной поверхности. В этом случае наблюдается непрерывное изменение энергии сорбции, т.к. в первую очередь происходит заполнение наиболее активных сорбционных положений и поверхность непрерывно заполняется до тех пор, пока не будут заняты положения с наименьшей энергией [14].

Следует отметить, что уравнение Фрейндлиха пригодно только для интервала средних концентраций, поскольку $1/n$ принимается постоянным и лежащим в пределах 0,1–0,5 для сорбции из растворов. Близкие значения n указывают на то, что силы, управляющие процессом сорбции металла на двух сорбентах сравнимы.

Особенности моделей Ленгмюра и Фрейндлиха объединены в эмпирическое уравнение изо-

термы Редлиха – Петерсона [15]

$$a_e = \frac{K_R \cdot C}{1 + a_R \cdot C^\beta}, \quad (3)$$

где a_e – сорбируемость в состоянии равновесия, ммоль/г; C – равновесная концентрация сорбата в водной фазе, ммоль/л; a_R , K_R – константы изотермы Редлиха – Петерсона, л^β/ммоль^β и л/г соответственно; β – константа, значение которой должно лежать в интервале $0 < \beta < 1$.

Для определения значений констант, входящих в уравнения изотерм Ленгмюра и Фрейндлиха, последние были линеаризованы в координатах $C_e/a_e - C_e$ и $\ln a_e - \ln C_e$ соответственно (табл. 1). Линейная форма уравнения Редлиха – Петерсона не может быть использована для определения констант этого уравнения, поскольку она содержит три неизвестных параметра a_R , K_R и β . Поэтому для нахождения констант уравнения (3) была принята процедура минимизации (OriginPro 7.5).

Таблица 1

Константы изотерм Ленгмюра, Фрейндлиха и Редлиха – Петерсона для исследованных сорбентов

(а) Уравнение Ленгмюра					
сорбент	ион	K_L	a_L	$a_{\text{макс}}$	r^*
I	Cu ²⁺	0,618	0,878	0,704	0,997
	Ni ²⁺	0,258	0,595	0,434	0,999
	Co ²⁺	0,150	0,541	0,278	0,996
II	Cu ²⁺	0,126	0,251	0,503	0,995
	Ni ²⁺	0,8287	2,368	0,350	0,999
	Co ²⁺	1,450	3,915	0,370	0,999
III	Cu ²⁺	0,446	0,922	0,787	0,997
	Ni ²⁺	0,393	1,483	0,265	0,999
	Co ²⁺	0,327	0,871	0,375	0,999
(б) Уравнение Фрейндлиха					
сорбент	ион	$1/n$	n	K_F	r^*
I	Cu ²⁺	0,188	5,32	0,379	0,956
	Ni ²⁺	0,291	3,44	0,171	0,988
	Co ²⁺	0,308	3,25	0,104	0,979
II	Cu ²⁺	0,306	1,91	0,095	0,982
	Ni ²⁺	0,218	4,59	0,208	0,973
	Co ²⁺	0,204	4,91	0,225	0,848
III	Cu ²⁺	0,268	3,73	0,226	0,989
	Ni ²⁺	0,233	4,28	0,142	0,948
	Co ²⁺	0,320	3,13	0,152	0,955
(с) Уравнение Редлиха – Петерсона					
сорбент	ион	K_R	a_R	β	r^*
I	Cu ²⁺	1,574	3,067	0,914	0,980
	Ni ²⁺	0,584	2,402	0,821	0,989
	Co ²⁺	0,278	1,725	0,829	0,974
II	Cu ²⁺	0,194	0,791	0,787	0,996
	Ni ²⁺	1,962	7,677	0,893	0,978
	Co ²⁺	0,632	1,280	1,089	0,989
III	Cu ²⁺	2,415	9,043	0,802	0,998
	Ni ²⁺	0,648	3,019	0,933	0,994
	Co ²⁺	0,386	1,189	0,955	0,996

r^* – коэффициент корреляции

Вид изотерм сорбции, представленных на рис.5 и 7, показывает, что восходящая часть кри-

вой изотермы сорбции ионов меди (II) круче, чем для ионов никеля (II) и кобальта (II), следовательно-

но, сродство сорбентов **I** и **III** к меди (II) выше. Количественной мерой сродства сорбата к поверхности сорбента служит параметр K_F , входящий в уравнение изотермы Фрейндлиха [14]. Его значения (табл. 1) подтверждают, что сродство меди (II) к сорбентам **I** и **III** намного больше, чем сродство ионов кобальта (II) и никеля (II).

Для сорбента **II** наблюдается другой ряд сродства. Из рис. 6 и значений K_F видно, что степень сродства сорбата к поверхности гибридного сорбента увеличивается в ряду: $\text{Cu(II)} < \text{Ni(II)} \leq \text{Co(II)}$.

Из значений коэффициентов корреляции, приведенных в табл. 1, видно, что сорбция ионов меди (II) полиалюмосилоксаном и полицирконосилоксаном (**II** и **III**) наилучшим образом описывается моделью Редлиха – Петерсона. Взаимодействие других ионов переходных металлов с поверхностью дикарбоксиэтилированных полисилоксанов наилучшим образом описывается моделью Ленгмюра. Значение параметра уравнения Редлиха – Петерсона β , близкое к 1 для сорбции ионов кобальта (II) на сорбенте **II** говорит о том, что сорбция протекает по механизму Ленгмюра.

Селективность

Для сравнения сорбционных характеристик исследуемых сорбентов была изучена их сорбционная емкость по отношению к раствору, содержащему одновременно ионы меди (II), никеля (II) и кобальта (II). Результаты сорбции ионов переходных металлов при их совместном присутствии приведены в табл. 2.

Следует отметить, что все образцы проявляют значительную избирательность при извлечении ионов меди (II). В изученных условиях ионы кобальта и никеля сорбируются примерно в одинаковой степени. Селективность извлечения меди по отношению к сумме металлов определяется рядом: **III** > **I** > **II**. В соответствии с изменением избирательности сорбции катионы можно распо-

ложить в следующий ряд: $\text{Co}^{2+} \approx \text{Ni}^{2+} < \text{Cu}^{2+}$, соответствующий ряду Ирвинга – Вильямса для O, N – лигандов.

Таблица 2

Селективность сорбции ионов Cu(II), Co(II), Ni(II) дикарбоксиэтилированными полисилоксанами

Сорбция металлов, ммоль/г	сорбент I	сорбент II	сорбент III
Co^{2+}	0,0203	0,0150	0,0098
Ni^{2+}	0,0214	0,0234	0,0185
Cu^{2+}	0,0830	0,0699	0,0736
Σ_{Me}	0,1247	0,1083	0,1019

В настоящей работе изучены условия извлечения ионов переходных металлов гибридными хелатными сорбентами с привитыми β -аминопропионатными группами на основе смешанных оксидов кремния, алюминия или циркония из водных растворов. Определены оптимальные интервалы pH сорбции ионов меди (II), никеля (II) и кобальта (II). Время установления равновесия составляет 60 мин. Установлено, что сорбция ионов меди (II) алюмополисилоксаном и цирконополисилоксаном наилучшим образом описывается моделью Редлиха – Петерсона, во всех других исследованных случаях извлечение ионов переходных металлов подчиняется модели Ленгмюра. Степень сродства сорбата к поверхности полисилоксана и цирконополисилоксана увеличивается в ряду $\text{Co(II)} \leq \text{Ni(II)} < \text{Cu(II)}$. Для алюмополисилоксана установлен следующий ряд сродства $\text{Cu(II)} < \text{Ni(II)} \leq \text{Co(II)}$. Ряд селективности для сорбентов соответствует ряду Ирвинга – Вильямса.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (№ 06-03-32863-а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Химия привитых поверхностных соединений / Под ред. Г.В.Лисичкина. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 592 с.
2. Лосев В.Н. Низкотемпературное сорбционно-люминесцентное определение меди в природных водах с использованием силикагеля, химически модифицированного меркаптогруппами / В.Н.Лосев, Ю.В.Аленникова, Е.В.Елсуфьев и др. // Журн. аналит. химии. 2002. Т. 57, № 7. С. 721–725.
3. Дьяченко Н.А. Сорбция кобальта в виде комплекса с нитрозо-R-солью силикагелем с привитыми трифенилфосфониевыми группами и его последующее определение в фазе сорбента / Н.А.Дьяченко, А.К.Трофимчук, В.В.Сухан // Журн. аналит. химии. 2002. Т. 57, № 11. С. 1202–1205.
4. El-Nasser A.A. Solid polysiloxane ligands containing glycine- or iminodiacetate-groups: synthesis and application to binding and separation of metal ions / A.A.El-Nasser, R.V.Parish // J.Chem. Soc., Dalton Trans. 1999. № 19. P. 3463–3466.
5. El-Nahhal I.M. Uptake of divalent metal ions (Cu^{2+} , Zn^{2+} and Cd^{2+}) by polysiloxane immobilized monoamine ligand system / I.M.El-Nahhal, F.R.Zaggout, N.M.El-Ashgar // Analyt.Lett. 2000. v. 33, № 10. P. 2031–2053.
6. Soliman E.M. Metal uptake properties of silica gel-

immobilized aminophenol and aminobenzoic acid and their application for heavy metal removal from sugar cane molasses / E.M.Soliman, M.E.Mahmoud // *Analisis*. 1997. v.25, № 5. P. 148–152.

7. Скорик Ю.А. О селективности анилиндипропионовых кислот к ионам меди (II). Синтез и кристаллическая структура $[\text{CuAdp}(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot 1/3\text{CH}_3\text{OH} \cdot 1/6\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (Adp=анилин-N,N-ди-3-пропионат) / Ю.А.Скорик, Н.В.Подберезская, Г.В.Романенко и др. // *Журн. неорг. химии*. 2003. т. 48, № 2. С. 250–256.

8. Неудачина Л.К. N-арил-3-аминопропионовые кислоты – селективные реагенты для определения меди в продуктах металлургического производства / Л.К.Неудачина, Е.В.Осинцева, Ю.А.Скорик и др. // *Журн. аналит. химии*. 2005. Т. 60, № 3. С. 271–277.

9. Ятлук Ю.Г. Синтез и сорбционные свойства новых гибридных хелатообразующих сорбентов с функциональными группами β-аланина / Ю.Г.Ятлук, Д.В.Еремин, Л.К.Неудачина и др. // *Изв. Академии наук. Сер. Химическая*. 2004. № 12. С. 2620–2625.

10. Ятлук Ю.Г. Новые гибридные хелатные сорбенты

с привитыми 3-аминопропионатными группами на основе смешанных оксидов кремния, алюминия, титана или циркония / Ю.Г.Ятлук, Н.А.Журавлев, О.В.Корякова и др. // *Изв. Академии наук. Сер. Химическая*. 2005. № 8. С. 1783–1788.

11. Шварценбах Г., Флашка Г. Комплексонометрическое титрование. М.: Химия, 1970. 360 с.

12. Иванов А.В. Молекулярная абсорбционная спектроскопия комплексов 4-(2-пиридилазо)резорцина как альтернатива атомно-абсорбционной спектроскопии / А.В.Иванов, В.Н.Фигуровская, В.М.Иванов // *Вестник Моск. Универс. Сер.2. Химия*. 1992. Т.33, №. 6. С. 570–574.

13. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1976. 512 с.

14. Wong Y. C. Equilibrium studies for acid dye adsorption onto chitosan / Y.C.Wong Y.S. Szeto, W.H. Cheung // *Langmuir*. 2003. v. 19, № 19. P. 7888–7894.

15. Redlich O. A useful adsorption isotherm / O.Redlich, D.L.Peterson // *J.Phys. Chem*. 1959. v. 63, № 6. P. 1024.

* * * * *

EQUILIBRIA OF SORPTION OF TRANSITIVE METALS ON HYBRID CHELATE SORBENTS ON THE BASIS OF MIXED OXIDES SILICON, ALUMINIUM OR ZIRCONIUM

L.K.Neudachina, N.V.Lakiza, Yu.G.Yatluk

The sorption of transitive metals ions onto hybrid chelate sorbents immobilized в-iminopropionic ligand groups on the surface on the basis of mixed oxides silicon, aluminum or zirconium has been investigated. Sorption experiments were carried out as a function of pH, contact time and concentration of transitive metals ions. The Langmuir, Freundlich and Redlich – Peterson sorption models were applied to describe the isotherms and to determination isotherm constant. The sorption isotherms of copper (II) ions onto polysiloxanes on the basis of mixed oxides aluminum and zirconium can be well-fitted to the Redlich – Peterson model, other sorption isothermal data could be well interpreted by the Langmuir model. Numbers of affinity of the polysiloxanes to ions of transitive metals are established. Numbers of selectivity for sorbents corresponds to number of Irving – Williams.